

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2001004452 A

(43) Date of publication of application: 12.01.01

(51) Int. Cl

G01J 5/58

G01J 1/10

(21) Application number: 11172576

(71) Applicant: TOKYO ELECTRON LTD

(22) Date of filing: 18.06.99

(72) Inventor: MATSUO TATSUO
ASAOKO RYUICHI

(54) METHOD AND INSTRUMENT FOR MEASURING TEMPERATURE

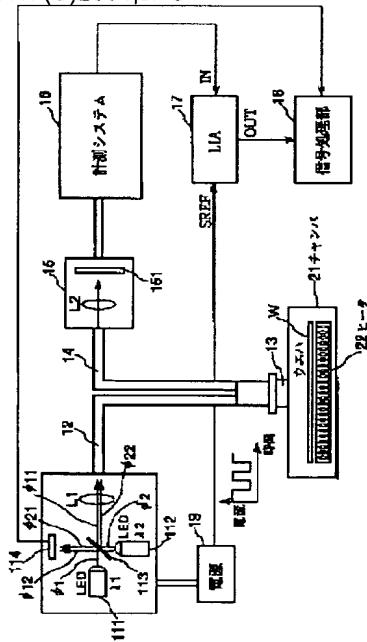
of the found reflection factors is found. The surface temperature of the wafer is calculated from the ratio.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

PROBLEM TO BE SOLVED: To measure the surface temperature of a silicon wafer of about 100°C in noncontact manner.

SOLUTION: LEDs 111 and 112 which emit light differing in wavelength are blinked in synchronism with a reference clock, a light beam splitter 113 splits the lights from the LEDs 111 and 112, and pieces φ11 and φ22 of luminous flux are guided by an optical fiber 12 to irradiate the wafer W. Reflected lights from the wafer W are guided by an optical fiber 14 to a photoelectric conversion part 15, and spectrally diffused and photoelectrically converted. Photoelectrically converted signals are supplied to a lock-in amplifier 17 for lock-in amplification using the reference clock to extract signals corresponding to the intensity values of the reflected lights. The intensity of the other piece of luminous flux of the light split by the beam splitter 113 is spectrally diffused and detected, the reflection factors of the wafer W to the respective wavelength lights are found from the intensity of the reflected lights, and further the ratio



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-4452

(P2001-4452A)

(43)公開日 平成13年1月12日(2001.1.12)

(51)Int.Cl.⁷

G 0 1 J 5/58
1/10

識別記号

F I

G 0 1 J 5/58
1/10

テ-マ-ト^{*}(参考)

2 G 0 6 5
2 G 0 6 6

審査請求 未請求 請求項の数12 OL (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平11-172576

(22)出願日 平成11年6月18日(1999.6.18)

(71)出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社
東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72)発明者 松土 龍夫

山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレ
クトロン株式会社内

(72)発明者 浅子 竜一

山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレ
クトロン株式会社内

(74)代理人 100095407

弁理士 木村 満 (外1名)

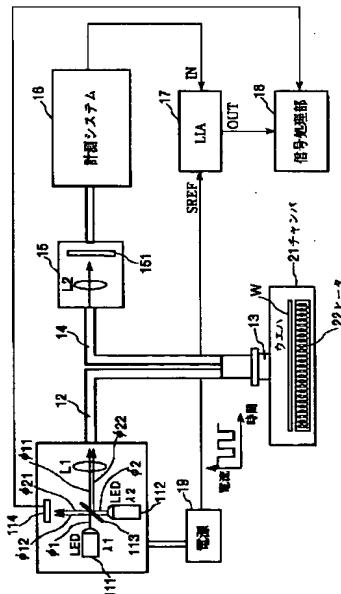
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 温度測定方法及び温度測定装置

(57)【要約】

【課題】 100°C程度のシリコンウェハの表面温度を非接触で測定する。

【解決手段】 波長の異なる光を発光するLED111と112とを参照クロックに同期して点滅させ、LED111と112からの光をビームスプリッタ113で分割し、一方の光束φ11, φ22を、光ファイバ12で導いてウェハWに照射する。ウェハWからの反射光を、光ファイバ14で光電変換部15に導いて、分光して光電変換する。光電変換された信号を、ロックインアンプ17で参照クロックを用いてロックイン増幅し、反射光の強度に対応する信号を抽出する。ビームスプリッタ113で分割した光の他方の光束の強度を分光して検出し、これを基準として、反射光の強度から、各波長光に対するウェハWの反射率を求め、さらに、求めた反射率の比を求める。この比から、ウェハWの表面温度を演算する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 温度測定対象物表面の複数波長の光に対する反射率を測定する測定工程と、

前記測定工程で測定された反射率の比を求める工程と、求めた反射率に基づいて温度測定対象物の温度を特定する工程と、

を備えることを特徴とする温度測定方法。

【請求項2】 波長の異なる複数の光を温度測定対象物に照射する照射工程と、

前記温度測定対象物に照射した光の強度を測定する照射強度測定工程と、

前記温度測定対象物からの複数の反射光の強度を測定する反射強度測定工程と、

前記照射強度測定工程と前記反射強度測定工程との測定結果から、前記温度測定対象物の前記複数の光の反射率を求める反射率判別工程と、

判別した反射率に基づいて測定対象物の温度を特定する工程と、

を備えることを特徴とする温度測定方法。

【請求項3】 前記照射工程は、波長の異なる複数の光束を発生させ、各光束を分割して一方を温度測定対象物に照射し、

前記照射強度測定工程は、分割された光束の他方の強度を測定し、

前記反射強度測定工程は、前記温度測定対象物からの反射光の各強度を測定する、

ことを特徴とする請求項2に記載の温度測定方法。

【請求項4】 前記照射工程は、波長の異なる複数の光束を光ファイバで導いて温度測定対象物に照射し、

前記反射強度測定工程は、前記温度測定対象物からの反

射光を光ファイバで導いて各強度を測定する、

ことを特徴とする請求項2又は3に記載の温度測定方

法。

【請求項5】 前記照射工程は、基準クロック信号を生成する工程と、該基準クロックに従って光源を点滅し、発生した光を温度測定対象物に照射する工程とを備え、前記反射強度測定工程は、前記温度測定対象物からの反射光を基準クロックを用いてロックイン增幅する工程を備える、

ことを特徴とする請求項2、3又は4に記載の温度測定方法。

【請求項6】 温度測定対象物の複数波長に対する反射率を求める反射率測定手段と、

前記反射率測定手段により測定された反射率の比を求める手段と、

この比から被測定対象物の温度を判別する温度判別手段と、

を備えることを特徴とする温度測定装置。

【請求項7】 波長の異なる複数の光を、温度測定対象物に照射する照射手段と、

前記温度測定対象物からの複数の反射光の強度を測定し、測定結果に基づいて、温度測定対象物の波長別の反射率を求める反射率測定手段と、

前記反射率測定手段により測定された反射率の比を求め、この比から被測定対象物の温度を特定する温度判別手段と、

を備えることを特徴とする温度測定装置。

【請求項8】 前記照射手段は、複数波長の光を発光する光源と、前記光源の発光した複数波長の光のそれぞれを分割して、一方を温度測定対象物に照射する分割手段を有し、

前記反射率測定手段は、前記温度測定対象物からの複数の反射光の強度を測定する反射強度測定手段と、前記分割手段により分割された複数波長の光の他方の強度を求める照射強度測定手段と、前記照射強度測定手段により測定された照射強度と前記反射強度測定手段により測定された反射強度とから、波長別に前記温度測定対象物の反射率を求める反射率検出手段と、を有す、

ことを特徴とする請求項7に記載の温度測定装置。

10

【請求項9】 前記照射手段は、複数波長の光を発光する光源と、

光を導く第1の光ファイバを備え、

前記反射率測定手段は、前記温度測定対象物からの複数の反射光を導く第2の光ファイバを備える、

ことを特徴とする請求項7又は8に記載の温度測定装置。

20

【請求項10】 測定対象物を載置したチャンバーと、該チャンバーに装着されたビューポートをさらに備え、該ビューポートには前記第1と第2の光ファイバの光ファイバヘッドが装着され、

該ビューポートには、厚さが連続的に変化しているウインドウが配置されている、

ことを特徴とする請求項9に記載の温度測定装置。

30

【請求項11】 前記照射手段は、波長が430nm～800nmの光を照射する、

ことを特徴とする請求項7乃至10のいずれか1項に記載の温度測定装置。

40

【請求項12】 前記照射手段は、基準クロックに従って点滅する光源を備え、前記反射率測定手段は、前記温度測定対象物からの反射光を基準クロックを用いてロックイン增幅するロックイン增幅器を備える、

ことを特徴とする請求項7乃至11に記載の温度測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体ウエハなどの被測定物の温度を非接触で測定する温度測定装置及び温度測定方法に関する。

【0002】

50

【従来の技術】半導体装置の製造過程においては、様々な場面で、各種の温度を測定する必要がある。

【0003】半導体製造装置において、温度を測定する方法としては、測定対象物に熱電対を接触させて温度を測定する方法、放射温度計により測定対象物の温度を測定する方法、被測定対象物に光を照射して、その反射率から温度を測定する方法などが知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】熱電対を用いた温度測定方法は、熱電対を被測定対象物に接触させる必要があり、例えば、半導体ウエハの平均的な温度の測定などは可能であるが、表面温度の測定などには使用できない。また、熱電対と測定対象物との接触状況によって、測定値が変化し、正確な測定が困難である。

【0005】放射温度計を用いる方法は、非接触で被測定対象物の温度を測定可能である。しかし、放射温度計は、一般に、200°C程度以上の物体の温度測定を対象としており、比較的低温、例えば、60°C～160°C程度の温度の測定には適していない。このため、例えば、半導体装置の製造時に、フォトレジストをペークする際のシリコンウエハの表面温度の測定などには使用することができない。

【0006】反射率を測定することによる温度測定も、非接触で被測定対象物の温度を測定可能であり、測定温度の制限もない。しかし、反射率の正確な測定が困難である。例えば、温度の読み取り精度を100°Cで0.1°C程度とすると、反射率の測定精度（許容誤差）を十万分の1以下にしなければならない。このため、例えば、光学系のずれなどにより被測定物への光の入射角がわずかに変化しただけで、検出器への反射光の入射量が変化し、見かけの反射率が変化して、測定値が大きくずれてしまう。また、加熱されている対象を測定する際に、空気対流などにより揺らぎなどが発生し、測定誤差を生じてしまう。

【0007】本発明は、上記実状に鑑みてなされたもので、簡単な構成で、正確に被測定対象物の温度を非接触で測定することができる温度測定装置及び温度測定方法を提供することを目的とする。また、本発明は、比較的低温の物質の温度を非接触で測定することができる温度測定装置及び温度測定方法を提供することを目的とする。また、本発明は、半導体ウエハの表面温度を正確に測定することができる温度測定装置及び温度測定方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の第1の観点にかかる温度測定方法は、温度測定対象物表面の複数波長の光に対する反射率を測定する測定工程と、前記測定工程で測定された反射率の比を求める工程と、求めた反射率に基づいて温度測定対象物の温度を特定する工程と、を備えることを特徴とする。

この構成においては、温度測定対象物の温度は、複数波長の光の反射率の比の一次関数となる。従って、反射率の比を求ることにより、温度測定対象物の温度を非接触で求めることができる。しかも、複数波長の光に対する検出系及び計測系の損失がほぼ等しいとすれば、反射率の比を求ることにより、その損失の影響を除去でき、正確な温度測定が可能となる。

【0009】上記目的を達成するため、本発明の第2の観点にかかる温度測定方法は、波長の異なる複数の光を温度測定対象物に照射する照射工程と、前記温度測定対象物に照射した光の強度を測定する照射強度測定工程と、前記温度測定対象物からの複数の反射光の強度を測定する反射強度測定工程と、前記照射強度測定工程と前記反射強度測定工程との測定結果から、前記温度測定対象物の前記複数の光の反射率を求める反射率判別工程と、判別した反射率に基づいて測定対象物の温度を特定する工程と、を備えることを特徴とする。この構成においても、反射率の比を求ることにより、温度測定対象物の温度を非接触で求めることができる。しかも、複数波長の光に対する検出系及び計測系の損失がほぼ等しいとすれば、反射率の比を求ることにより、その損失の影響を除去でき、正確な温度測定が可能となる。

【0010】例えば、前記照射工程は、波長の異なる複数の光束を発生させ、各光束を分割して一方を温度測定対象物に照射し、前記照射強度測定工程は、分割された光束の他方の強度を測定し、前記反射強度測定工程は、前記温度測定対象物からの反射光の各強度を測定する。

【0011】前記照射工程は、例えば、波長の異なる複数の光束を光ファイバで導いて温度測定対象物に照射し、前記反射強度測定工程は、例えば、前記温度測定対象物からの反射光を光ファイバで導いて各強度を測定する。加熱又は冷却されている物体の温度を測定するような場合、温度測定対象物の周囲では空気の対流が発生する。光ファイバを使用することにより、この種の外乱の影響を除去することができる。

【0012】前記照射工程は、基準クロック信号を生成する工程と、該基準クロックに従って光源を点滅し、発生した光を温度測定対象物に照射する工程とを備え、前記反射強度測定工程は、前記温度測定対象物からの反射光を基準クロックを用いてロックイン增幅する工程を備えてよい。ロックイン增幅を行うことにより、高いS/Nで、反射強度を測定することができる。

【0013】上記目的を達成するため、本発明の第3の観点にかかる温度測定装置は、温度測定対象物の複数波長に対する反射率を求める反射率測定手段と、前記反射率測定手段により測定された反射率の比を求める手段と、この比から被測定対象物の温度を判別する温度判別手段と、を備えることを特徴とする。温度測定対象物の温度は、複数波長の光の反射率の比の一次関数となる。

従って、反射率の比を求ることにより、温度測定対象

物の温度を非接触で求めることができる。しかも、複数波長の光に対する測定系の損失がほぼ等しいとすれば、反射率の比を求めることにより、その損失の影響を除去でき、正確な温度測定が可能となる。

【0014】上記目的を達成するため、本発明の第4の観点にかかる温度測定装置は、波長の異なる複数の光を、温度測定対象物に照射する照射手段と、前記温度測定対象物からの複数の反射光の強度を測定し、測定結果に基づいて、温度測定対象物の波長別の反射率を求める反射率測定手段と、前記反射率測定手段により測定された反射率の比を求め、この比から被測定対象物の温度を特定する温度判別手段と、を備えることを特徴とする。この構成によっても、温度測定対象物の温度を非接触で求めることができる。しかも、損失の影響を除去でき、正確な温度測定が可能となる。

【0015】前記照射手段は、例えば、複数波長の光を発光する光源と、前記光源の発光した複数波長の光のそれを分割して、一方を温度測定対象物に照射する分割手段を備え、前記反射率測定手段は、例えば、前記温度測定対象物からの複数の反射光の強度を測定する反射強度測定手段と、前記分割手段により分割された複数波長の光の他方の強度を求める照射強度測定手段と、前記照射強度測定手段により測定された照射強度と前記反射強度測定手段により測定された反射強度とから、波長別に前記温度測定対象物の反射率を求める反射率検出手段と、を備える。

【0016】前記照射手段は、複数波長の光を発光する光源と、光を導く第1の光ファイバを備えてもよく、前記反射率測定手段は、前記温度測定対象物からの複数の反射光を導く第2の光ファイバを備えてもよい。光ファイバを使用することにより、測定値から雰囲気の影響を低減できる。

【0017】測定対象物が半導体ウエハなどの場合、測定対象物を載置したチャンバーにビューポートを形成し、この該ビューポートに前記第1と第2の光ファイバの光ファイバヘッドを装着（挿入・脱着）するようにしてもよい。また、ビューポート内の窓には、厚さが連続的に変化している、例えば、断面がくさび形のウインドウが配置される。この構成によれば、光ファイバの光ファイバヘッドをビューポートに装着することにより、容易に温度測定が可能となる。さらに、ビューポートを複数配置し、光ファイバを装着するビューポートを順次取り替えながら、測定すれば、測定対象物の複数箇所の表面温度を容易に測定することができる。また、ビューポート内の窓に配置するウインドの断面を、厚さが連続的に変化する形状とすることにより、温度に依存する干渉縞が発生して測定に影響を与える事態を防止できる。

【0018】前記照射手段は、例えば、波長が430nm～800nmの光を照射する。前記照射手段は、例えば、基準クロックに従って点滅するLEDなどの光源を

備え、前記反射率測定手段は、前記温度測定対象物からの反射光を基準クロックを用いてロックイン増幅するロックイン増幅器を備える。ロックイン増幅を行うことにより、高S/Nで信号を抽出することができる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、本発明の実施の形態にかかる半導体ウエハの温度測定装置及び温度測定方法について説明する。温度測定対象の半導体ウエハ、例えば、シリコン(Si)ウエハの表面の屈折率nは、各波長λに関して、図6に示すように、温度に対してほぼ線形に変化する。従って、波長λの光に対する屈折率n(λ)は式1で表すことができる。

$$【数1】 n(\lambda) = p(\lambda) + q(\lambda) T \quad (1)$$

ここで、p(λ)：波長に対して固有な値(T=0での屈折率)
q(λ)：波長に対して固有な値
T：絶対温度

【0020】屈折率nと、反射率Rとの関係は、式2で表される。

$$【数2】 R = ((n-1)/(n+1))^2 \quad (2)$$

式1と式2とから、α(λ)が十分に小さいとすると、温度Tでの波長λの光の反射率は式3で表される。

【0021】

$$【数3】 R(\lambda, T) = R_0(\lambda) + 4(p(\lambda) - 1)q(\lambda)T / (p(\lambda) + 1)^3 \quad (3)$$

ここで、α₀(λ)：T=0Kでの反射率
従って、反射率Rも屈折率の温度依存性を反映して、図7に示すように、温度Tに関する一次関数になっている。

【0022】一例を示すと、He-Neレーザの波長0.6328μmにおけるシリコン(Si)の屈折率n_{Si}と反射率R_{Si}は式4で表される。

【0023】

$$【数4】 n_{Si}(\lambda=0.6328\mu m, T) = 3.9 + 5.97 \times 10^{-4} T \\ R_{Si}(\lambda=0.6328\mu m, T) = 0.35 + 5.8 \times 10^{-5} T \quad (4)$$

【0024】ここで、温度の読みとり精度を100°Cで0.1°Cとすると、

$$【数5】 R_1(\lambda=0.6328\mu m, T=373) = 0.3721542 \\ R_2(\lambda=0.6328\mu m, T=373.1) = 0.3721601 \quad (5)$$

となる。ΔR=|R₁-R₂|とすると、ΔR/R₁=1.59×10⁻⁵となり、反射率の測定精度が十万分の1以下でないと、0.1°Cの精度が得られない。

【0025】一方、反射率Rの波長λに対する変化は、図8に示すようになり、温度の変化に伴って特性曲線全体がシフトする。

【0026】ここで、2つの波長に対する反射率比の温度依存性を求める。温度T₁に対する波長λ₁における反射率（振幅反射率）をr₁、波長λ₂における反射率をr₂、温度T₂に対する波長λ₁における反射率をr_{1'}、波長λ₂における反射率をr_{2'}とし、光を無偏光とすると、それらは、屈折率を用いて、それぞれ数式6で表される。

【0027】

$$\begin{aligned} \text{【数6】 } r_1 &= \{n(\lambda_1, T_1) - 1\} / \{n(\lambda_1, T_1) + 1\} \\ r_2 &= \{n(\lambda_2, T_1) - 1\} / \{n(\lambda_2, T_1) + 1\} \\ r_1' &= \{n(\lambda_1, T_2) - 1\} / \{n(\lambda_1, T_2) + 1\} \\ r_2' &= \{n(\lambda_2, T_2) - 1\} / \{n(\lambda_2, T_2) + 1\} \end{aligned}$$

【0028】一方、屈折率nは波長λと温度Tにより決定され、数式7で近似できる。

【数7】

$$\begin{aligned} n(\lambda_1, T_1) &= p(\lambda_1) + q(\lambda_1) T_1 \\ n(\lambda_2, T_1) &= p(\lambda_2) + q(\lambda_2) T_1 \\ n(\lambda_1, T_2) &= p(\lambda_1) + q(\lambda_1) T_2 \\ n(\lambda_2, T_2) &= p(\lambda_2) + q(\lambda_2) T_2 \end{aligned}$$

ここで、p(λ_i)とq(λ_i)とは固有の値であり、例えば、シリコンの場合、p(λ_i) = 3.35 + 0.22λ_i⁻²、q(λ_i) = (6.05λ_i⁻¹/2 - 1.64) × 10⁻⁴である。

【0029】数式6に数式7を代入すると数式8が成立する。

$$\text{【数8】 } r_2'/r_1' \doteq (r_2/r_1) \times [1 - 2(T_2 - T_1)] \times \{q(\lambda_2)/((p(\lambda_2)^2 - 1) - q(\lambda_1)) / (p(\lambda_1)^2 - 1)\}$$

【0030】数式8から、強度反射率比は数式9で表される。

$$\text{【数9】 } R_2'/R_1' \doteq R_2/R_1 [1 - 4(T_2 - T_1)] \{q(\lambda_2)/((p(\lambda_2)^2 - 1) - q(\lambda_1)) / (p(\lambda_1)^2 - 1)\}$$

ここで、R_i = |r_i|²である。数式9から明らかなように、2つの波長の光の反射率の比は、温度に対して線形になる。従って、反射率比を求めることにより、反射面の温度を測定することが可能になる。

【0031】数式9を変形すると、数式10が成立する。

$$\text{【数10】 } T_1 - T_2 \doteq ((R_2'/R_1') / (R_2/R_1) - 1) / 4(q(\lambda_2) / ((p(\lambda_2)^2 - 1) - q(\lambda_1)) / (p(\lambda_1)^2 - 1))$$

従って、基準温度における反射率比と、各定数を予め求めておけば、強度反射率比から基準温度との差を求めることができ、ひいては、その温度を求めることができる。

【0032】例えば、波長λ₁ = 0.525 μm、λ₂ = 0.660 μm、T₀を基準温度とすれば、測定対象物の温度Tは数式11から求めることができる。

【数11】

$$T \doteq [(R_1'/R_2') / (R_2/R_1) - 1] / (4.96 \times 10^{-6}) + T_0$$

【0033】反射率を測定するための光学系を数式12のモデルで表すとする。

$$\begin{aligned} \text{【数12】 } [\text{反射光強度 } I] &= [1 - (\text{検出系損失 } \eta_{\text{detect}})] \times [1 - (\text{出射光学系損失 } \eta_{\text{output}})] \times \\ &[\text{ウエハー反射率 } R(\lambda)] \times [1 - \text{入射光学系損失 } \eta_{\text{input}}] \times [\text{入射光強度 } I_0(\lambda)] \end{aligned}$$

【0034】数式12を波長λ₁とλ₂について示すと、数式13のようになる。

$$\begin{aligned} \text{【数13】 } I(\lambda_1) &= (1 - \eta_{\text{detect}}) (1 - \eta_{\text{output}}) R(\lambda_1) (1 - \eta_{\text{input}}) I_0(\lambda_1) \\ I(\lambda_2) &= (1 - \eta_{\text{detect}}) (1 - \eta_{\text{output}}) R(\lambda_2) (1 - \eta_{\text{input}}) I_0(\lambda_2) \end{aligned}$$

これらの比を計算すると、I₀がそれぞれの波長で規格化されているならば、

$$I(\lambda_1) / I(\lambda_2) = R(\lambda_1) / R(\lambda_2)$$

となる。従って、システムの損失を無視する事ができる。

【0035】以上説明したように、複数波長の光に対するシリコンの反射率の比を測定することにより、システムの損失を無視して、反射面（表面）の温度を非接触で測定することができる。

【0036】次に、上述の方法を用いて、半導体ウエハの表面温度を測定するシステムの実施の形態を説明する。図1は、この実施の形態の温度測定装置を示す。この温度測定装置は、図示するように、発光部11と、発光部11からの光を被測定対象物であるシリコンウエハWに導く光ファイバ12と、シリコンウエハWが載置されたチャンバ21の上壁（上蓋）に取り付けられたビューポート13と、ビューポート13で検出した反射光を導く光ファイバ14と、光ファイバ14からの光を電気信号に変換する光電変換部15と、光電変換部15の出力信号を処理する計測システム16と、ロックインアンプ17と、信号処理部18と、電源部19により構成される。

【0037】チャンバ21は、例えば、シリコンウエハWの表面にコートされたフォトレジストを硬化させるためのホットプレートなどから構成され、内部に加熱ヒータ22とシリコンウエハ載置用のテーブルを備える。実際の半導体装置の製造工程では、シリコンウエハWの表面には種々の加工が施され、さらに、フォトレジストがコートされているため、その表面温度を直接測定することは困難である。そこで、シリコンウエハWの表面温度の測定用に、未加工のシリコンウエハWが載置され、例えば、その温度変化や温度分布などが測定される。

【0038】発光部11は、波長の異なる光を発光する第1と第2のLED111、112と、ビームスプリッタ113、光学レンズ系L1及びCCDアレイシステム50 114とを備える。

【0039】第1のLED111と第2のLED112とは、その光軸を直交させて配置され、電源部19から供給されるパルス状の電力により、同期してオンオフし、それぞれ、525nm、660nmの波長の光をほぼ無偏光で発光する。

【0040】ビームスプリッタ113は、ハーフミラー、ダイクロイックミラーなどから構成され、LED111と112の光軸の交差部に配置され、第1のLED111からの光束 ϕ 1の2分の1の光束 ϕ 11をそのまま通過させて光学レンズ系L1に導き、残りの1/2の光束 ϕ 12をCCDアレイシステム114に導く。また、ビームスプリッタ113は、第2のLED112からの光束 ϕ 2の2分の1の光束 ϕ 21をそのまま通過させてCCDアレイシステム114に導き、残りの1/2の光束 ϕ 22を光学レンズ系L1に導く。

【0041】光学レンズ系L1は、ビームスプリッタ113により分割されて生成された波長525nmの光束 ϕ 11と、波長660nmの光束 ϕ 22とを光ファイバ12に導く。CCDアレイシステム114は、CCDとその前面に配置されたプリズムなどから構成され、入射光を分光し、波長525nmの光束 ϕ 12と、波長660nmの光束 ϕ 21との強度を示す信号を生成し、信号処理部18に供給する。

【0042】第1の光ファイバ12は、光学レンズ系L1から導入された525nmの光束 ϕ 11と660nmの光束 ϕ 22の合成光をチャンバ21のビューポート13に導く。

【0043】ビューポート13は、図2に断面で示すように、チャンバ21の上壁に形成され、光ファイバ12と14の光ファイバヘッド（端部）Hが装着される装着部211と、ビューポート13の開口内に、光ファイバヘッドHと対向して配置されたレンズL3とL4と、ウインドウ131とから構成される。レンズL3は、光ファイバ12から出射した光を、シリコンウエハWの表面上に集光する。レンズL4は、シリコンウエハWからの反射光を光ファイバ14に導出する。

【0044】ウインドウ131は、熱膨張率の小さい石英ガラスなどから構成され、温度変化に伴う入射光と反射光との干渉を防止するため、図2に示すようにくさび形（ウェッジシェーブ）の断面形状を有する。このような形状とすることにより、図3に模式的に示すように、入射光の一面での反射光と、他面での反射光との間での干渉が起こりにくい。これに対し、ウインドウ131の上面と下面が平行であると、加熱ヒータ22の加熱によるシリコンウエハWの温度変化に伴って、石英ガラスも膨張又は収縮し、厚みが変化するため、反射光強度に温度依存の干渉パターンが生じる。このような形状とすることにより、温度依存の干渉を防止することができる。

【0045】反射光導出用の光ファイバ14は、レンズL3を介して供給された反射光を光電変換部15に導

<。

【0046】光電変換部15は、光ファイバ14により導かれた反射光をCCDアレイシステム151により、分光し、波長帯（525nmと660nm）別の光の強度を表す信号を出力する。LED111と112が点滅するため、この信号もクロック状の波形信号となる。

【0047】計測システム16は、光電変換部15からの各信号を増幅し、ノイズを除去して、ロックインアンプ17に供給する。ロックインアンプ17は、電源部19から供給される参照信号(LED111, 112のオン・オフに同期した信号)SREFを用いて、計測システム16から供給されるノイズを含む信号から、反射光に対応する信号成分を抽出して出力する。

【0048】信号処理部18は、実験などにより予め求められていた半導体ウエハWの基準温度における反射率比や各定数、さらに、式10を予め記憶している。信号処理部18は、ロックインアンプ17から供給された信号（反射光の強度を示す信号）をA/D変換し、さらに、CCDアレイシステム114から供給される基準信号から、2つの波長の光のシリコンウエハW上の反射率を求め、この反射率から、予め内部に格納しておいた基準値に基づいて、式10に従って、その表面温度を特定し、出力する。

【0049】電源部19は、70～90Hz（商用電源周波数の非正数倍）で発振する発振回路を備え、この発振信号に同期してLED111と112に発光用の電力を供給し、LED111と112を点滅させる。また、電源部19は、この発振信号をロックインアンプ17に参照信号SREFとして供給する。

【0050】次に、上記構成の温度測定システムの動作を説明する。チャンバ21内に載置されたシリコンウエハWの表面の温度を測定する場合、まず、電源部19をオンし、LED111と112とを同期させながらオン・オフする。このオン・オフにより、LED111と112とは、基準信号に同期して、点滅する。オンしたLED111と112から照射された波長525nmと660nmの光束 ϕ 1と ϕ 2は、それぞれ、ビームスプリッタ113により2分割される。分割された一方の光束 ϕ 12と ϕ 21とはCCDアレイシステム114に入射し、分光されて、それぞれ、その強度を示す信号Idirect ($\lambda=525\text{nm}$) とIdirect ($\lambda=660\text{nm}$) に変換されて信号処理回路18に供給される。

【0051】一方、ビームスプリッタ113で分割された他方の光束 ϕ 11と ϕ 22は、光学レンズ系L1を介して光ファイバ12に入射し、加熱ヒータ22による空気の対流などの影響を受けずに伝達され、図2に示すように、光ファイバヘッドHから出射し、ビューポート13内のレンズL3によりシリコンウエハWの表面に照射される。シリコンウエハWの表面で反射した光は、集光レンズL3を介して光ファイバ14に入射し、光ファイバ

14内を伝達する。

【0052】なお、光ファイバ12から出射した光、シリコンウエハWで反射した光は、ウインドウ131の表面で、屈折率の差により、反射するが、ウインドウ131がウェッジシェーブをしているため、温度に依存する特有の干渉パターンは発生しない。

【0053】光ファイバ14を通過した光は、レンズL2を介してCCDアレイシステム151に入射する。CCDアレイシステム151は入射光を分光し、波長525nmと660nmの光に分光し、それぞれ光電変換することにより、波長525nmと660nmの反射光の強度に対応する信号IN(λ=525nm)とIN(λ=660nm)を出力する。

【0054】計測システム16は、信号IN(λ=525nm)とIN(λ=660nm)の増幅、ノイズ除去などを適宜行った後、ロックインアンプ17に供給する。ロックインアンプ17は、電源部19から供給される参照信号SREFを用いて、ノイズの多い入力信号IN(λ=525nm)とIN(λ=660nm)の中から、ノイズ成分を除去して波長λ=525nmの反射光に対応する信号成分と波長λ=660nmの反射光に対応する信号成分とを抽出して出力する。

【0055】信号処理回路18は、ロックインアンプ17から出力されたOUT(λ=525nm)とOUT(λ=660nm)と、CCDアレイシステム114から供給されたIdirect(λ=525nm)とIdirect(λ=660nm)とより、波長が525nmの光のシリコンウエハWの表面での反射率R(λ=525nm)とR(λ=660nm)とを求める。

【0056】なお、CCDアレイシステム114から供給されたIdirect(λ=525nm)とIdirect(λ=660nm)とも、オン・オフ信号である。従って、必要に応じてエンベロープ信号を求めるなどの処置を行う。また、ロックインアップ17でIdirect(λ=525nm)とIdirect(λ=660nm)とを検波し、光束φ12、φ21の強度に対応する信号成分を抽出し、抽出した信号を反射率の計算に使用してもよい。

【0057】即ち、損失を無視するならば、シリコンウエハWに照射された光の強度は、Idirect(λ=525nm)とIdirect(λ=660nm)に等しい。従って、シリコンウエハW表面の反射率R(λ=525nm)とR(λ=660nm)とは、数式14で求められる。

【0058】

【数14】

$$R(\lambda=525\text{nm}) = \text{OUT}(\lambda=525\text{nm}) / \text{Idirect}(\lambda=525\text{nm})$$

$$R(\lambda=660\text{nm}) = \text{OUT}(\lambda=660\text{nm}) / \text{Idirect}(\lambda=660\text{nm})$$

信号処理回路18は、さらに、数式15に示す反射率の比を求める。

【0059】

【数15】 $R(\lambda=525\text{nm}) / R(\lambda=660\text{nm}) = \text{OUT}(\lambda=525\text{nm}) / \text{Idirect}(\lambda=660\text{nm}) / \text{OUT}(\lambda=660\text{nm}) / \text{Idirect}(\lambda=525\text{nm})$
さらに、信号処理回路18は、この反射率比と予め内部に記憶しておいた基準値とを用いて、数式10又は11に基づいて、シリコンウエハWの表面の温度を計算し、出力する。

【0060】このようにして、2つの波長(525nm、660nm)の光の反射率の比から、非接触で、シリコンウエハWの表面温度を測定することができる。

【0061】ここで、ビューポート13の取り付けが不適切で、図4に示すように、シリコンウエハWへの照射光の照射角度が本来の値θからθ'にずれたと仮定する。この場合、シリコンウエハWでの出射角度もθからθ'にずれてしまい、一部の光がビューポート13に入射できなくなる。このため、見かけ上、反射率が低下してしまう。しかし、この実施の形態によれば、ビューポート13が傾いていたとしても、その影響は、2つの波長の光に均等に影響するので、反射率の比 $R(\lambda=525\text{nm}) / R(\lambda=660\text{nm})$ には影響がない。従って、ビューポート13の取り付け誤差等による測定誤差を抑えることができる。

【0062】また、発光部11からの光の導出、光電変換部15への反射光の導出に、光ファイバ12、14を使用しているため、加熱ヒータ22により加熱された外気の対流などによる外乱が測定値に影響を与えない。

【0063】なお、この発明は上記実施の形態に限定されず、種々の変形及び応用が可能である。例えば、上記実施の形態においては、525nmの光と660nmの光を使用したが、使用する光の波長は任意である。ただし、波長が1000nm(1μm)を超えると、シリコンが透明になってしまうため、1μm未満の波長光を使用する必要がある。また、高反射率を確保する上から、900nm未満の波長光を使用することが望ましい。また、波長が短すぎても、温度測定が困難であるため、波長が430nm以上の光を使用することが望ましい。

【0064】また、上記実施の形態では、理解を容易にするため、LED111と112の出射光φ1とφ2を、ビームスプリッタ113で、それぞれ、等しい強度の2つの光束φ11とφ12、φ21、φ22に分割したが、分割する強度比は任意である。

【0065】例えば、LED111から出射する波長λ1の光のx%が、光ファイバ12に入射し、残りの(100-x)%がCCDアレイシステム114に入射し、LED112から出射光する波長λ2の光のy%が、光ファイバ12に入射し、残りの(100-y)%がCCDアレイシステム114に入射するような場合には、各波長の反射率Rは次式で求められる。

$$R(\lambda_1) = \text{OUT}(\lambda_1) \cdot (100-x) / \text{Idirect}(\lambda_1) \cdot x$$

$$R(\lambda_2) = \text{OUT}(\lambda_2) \cdot (100-y) / \text{Idirect}$$

(λ₂)・y

【0066】さらに、上記実施の形態においては、チャンバ21の上壁にビューポート13を1つ配置したが、図5に示すように、複数のビューポート13を配置して、光ファイバヘッドHを適宜、任意のビューポート13に挿入して測定を行うようにしてもよい。また、図1に示す発光部11と光電変換部15などを複数セット配置しておき、複数のビューポート13にそれぞれ光ファイバヘッドHを装着し、シリコンウエハWの複数箇所の温度を同時に測定できるように構成してもよい。

【0067】上記実施の形態においては、光源としてLEDを使用し、電源部19からの断続的な電力供給によりこれを点滅した。従って、消費電力が小さい。ただし、半導体レーザ、ランプなどの任意の光源を使用可能である。ただし、測定精度を高めるため、できるだけ無偏光の光を照射する光源が望ましい。また、光源を点滅し、検出光をロックインアンプ17で検波しているので、簡単な構成で、高いS/Nでの増幅が可能である。

【0068】上記実施の形態においては、電源の供給の断続により、光源をオン・オフしているが、この例に限らず、光源からの連続光をチョッパを用いて断続化したりしてもよい。また、光源の発光強度を正弦波状の変調信号に従って正弦波状に変調し、正弦波状の反射光を変調信号を用いて復調することにより、反射光の強度を測定するなど、してもよい。また、ロックインアンプを使用しない場合には、連続光を使用してもよい。

【0069】上記実施の形態において、信号処理部18は、入力アナログ信号をA/D変換し、デジタル信号処理を行ったが、アナログ信号処理により、反射率比を求め、温度を示す信号に変換してもよい。また、反射率を求める工程と反射率の比を求める工程を順次行う必要はなく、1つの工程で行ってもよい。例えば、各反射率の特定と反射率比の特定とを多入力の演算回路や並列演算回路等を利用して、一時に行ってもよい。さらに、測定システム16で、光電変換部15の出力信号をデジタル化し、後は、DSPなどを用いたデジタル信号処

理により、ロックイン増幅や、反射率及び反射率比の特定等をおこなってもよい。

【0070】上記実施の形態においては、シリコンウエハの表面温度を測定する場合を例にこの発明を説明したが、光反射性の物体ならば測定対象は任意である。例えば、ウエハ表面に形成された絶縁膜などの温度を測定することも可能である。

【0071】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、被測定対象物の温度を非接触で比較的正確に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態にかかる温度測定装置の全体の構成を示す図である。

【図2】ビューポートの断面構成を示す図である。

【図3】ウインドウでの反射の様子を示す模式図である。

【図4】ビューポートの取り付けが不適切な場合のシリコンウエハへの入射光と反射光の関係を示す図である。

【図5】チャンバに複数のビューポートを配置した例を示す図である。

【図6】屈折率と温度及び波長との関係を示すグラフである。

【図7】反射率と温度との関係を示すグラフである。

【図8】反射率と波長との特性カーブが温度に応じてシフトする様子を示すグラフである。

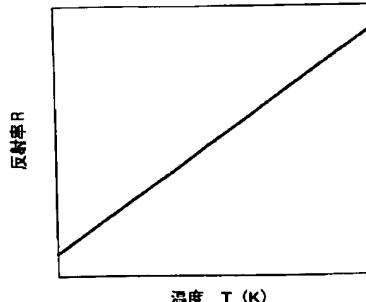
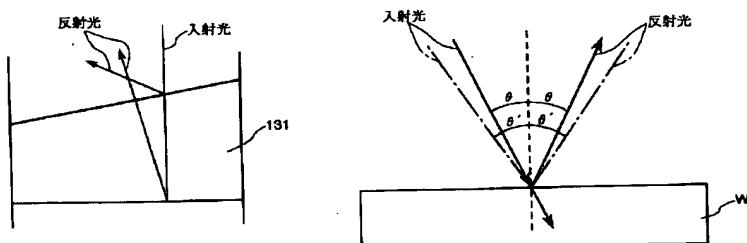
【符号の説明】

1 1	発光部
1 2	光ファイバ
30 1 3	ビューポート
1 4	光ファイバ
1 5	光電変換部
1 6	計測システム
1 7	ロックインアンプ
1 8	信号処理部
1 9	電源部

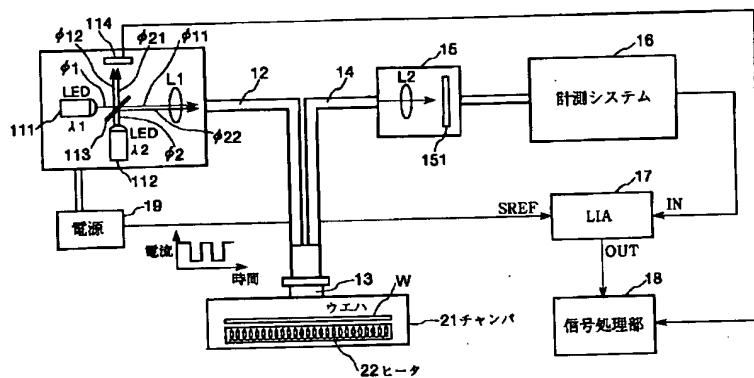
【図3】

【図4】

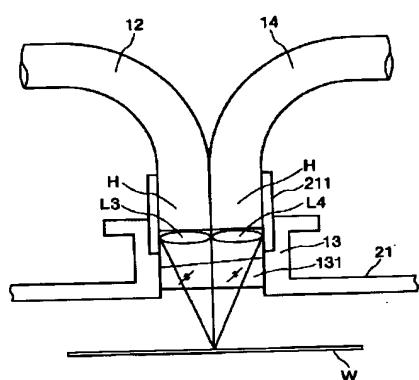
【図7】



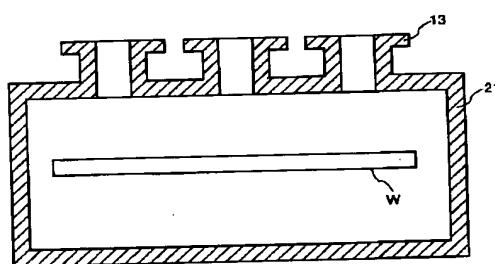
【図1】



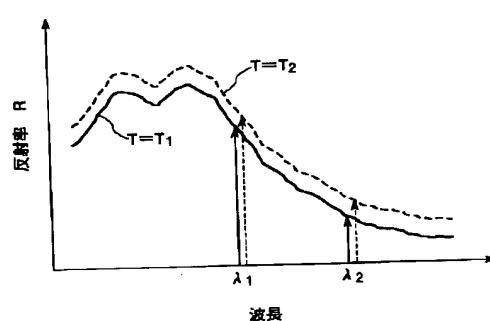
【図2】



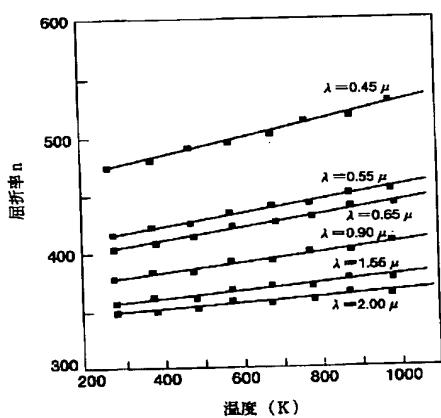
【図5】



【図8】



【図6】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2G065 AA04 AB02 AB04 AB22 AB28
BA04 BA34 BB02 BB14 BC03
BC04 BC07 BC14 BC22 DA15
2G066 AA04 AB01 AB02 AC01 AC11
BA13 BA14 BA38 CA01